

СЕКЦИЯ 3. ДЕФОРМАЦИЯ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО РЕЛЬЕФА СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО И КРУПНОЗЕРНИСТОГО НИКЕЛЯ

Астанин В.В.¹, Корзникова Е.А.²

¹ Уфимский государственный авиационный технический университет,
г. Уфа,

² Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа,
helenne@yandex.ru

В последние 2 десятилетия появилось много методов получения нанокристаллических структур. Один из методов ИПД, позволяющий достичь наименьшего размера зерна – кручение под высоким квазигидростатическим давлением. Этот метод выгодно отличается от других методов ИПД тем, что накопление относительно большой деформации происходит за относительно короткий промежуток времени и не сопровождается загрязнением исходного материала.[1, 2]. Целью работы было исследование основных механизмов деформации действующих в материалах с различным средним размером структурного элемента.

Поскольку известно, что пластическая деформация кристаллов сопровождается образованием на их поверхности деформационного рельефа, отражающего процесс локализации деформации в кристалле на мезо-, микро-, и наномасштабом уровнях. Так как локализация деформации является результатом неоднородного распределения дислокаций в кристалле, то поверхностный деформационный рельеф отражает характер этого распределения [3]. Поэтому, одной из задач данной работы стало исследование деформационного рельефа образцов в различных структурных состояниях.

В качестве материала для исследования был выбран Ni чистотой 99,998%. Деформацию проводили ИПД кручением под высоким квазигидростатическим давлением под давлением 4 ГПа со степенью деформации $\gamma \approx 125$ [2]. Средний размер структурного элемента в образце после деформации составил 0,2 мкм. Крупнозернистый образец был подвергнут отжигу при температуре 500 °С в течение 2 часов, рассчитанный средний размер зерен – 6,6 мкм.

Анализ деформационного рельефа проводили на сканирующем зондовом микроскопе NT-DMT на платформе ИНТЕГРА. Максимальное поле сканирования 100×100 мкм.

Исследование деформационного рельефа двух предельных состояний на атомно-силовом микроскопе (рис. 1) показало, что после деформации исходного образца никеля на деформационном рельефе наблюдаются типичные полосы сдвига расположенные вдоль наиболее легкой кристаллографической системы скольжения. Средняя высота полос составила 38 нм и ширина – 0,9 мкм. Длина полос соответствует размеру зерна отожженного образца никеля (10...50 мкм). Ширина всех полос примерно одинакова, как и глубина.

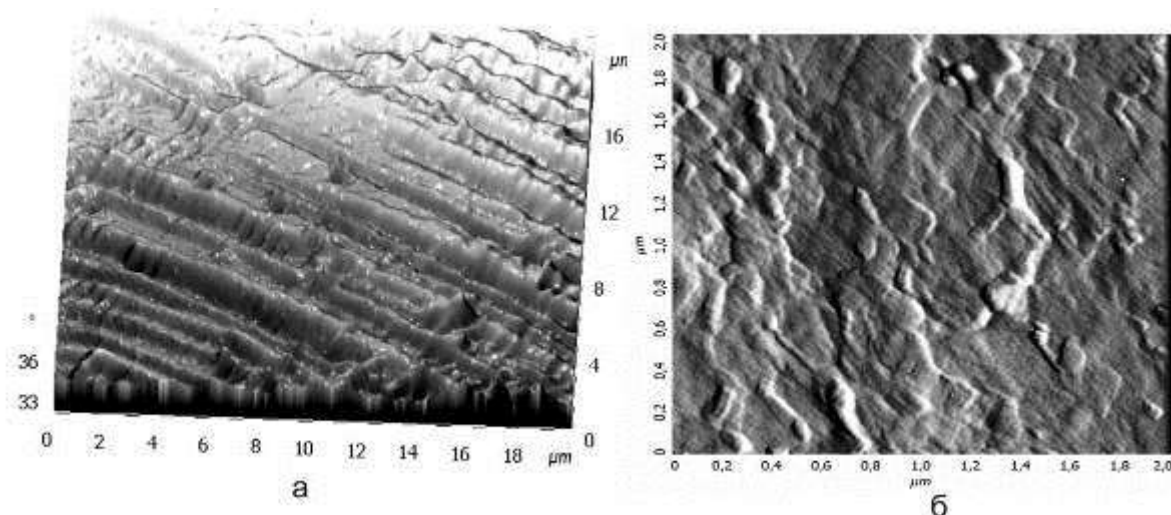


Рисунок 1. Деформационный рельеф крупнозернистого образца Ni и наноструктурного образца Ni (а), полученного деформацией кручением на 5 оборотов (б)

При рассмотрении деформационного рельефа образца с субмикроструктурной структурой наблюдаются ячейки, разделенные широкими границами, размер которых – 100...500 нм примерно соответствует среднему размеру структурного элемента рассчитанного из электронномикроскопических исследований (150 нм). Можно предположить, что такое выявление субзерен обусловлено тем, что деформация происходит не по классическому механизму (генерация и скольжение дислокаций в теле зерна), а за счет движения скоплений дислокаций по границам ячеек. Это может быть связано со следующим фактом: размер зерна в процессе ИПД уменьшается, в результате чего уменьшается длина свободного пробега дислокаций и число дислокаций в одной системе скольжения. Более энергетически выгодным и вследствие этого более вероятным, оказывается генерация и движение дислокаций по границам субзерен, которые в данном случае являются поверхностями сдвига, которое в результате приводит к зернограничному проскальзыванию.

Можно также отметить, что изучение деформационного рельефа образцов деформированных на меньшие степени показало, что в них имеет место совмещение нескольких механизмов деформации. С увеличением степени деформации и соответствующем уменьшением размером структурного элемента происходит уменьшение вклада простого сдвига, что видно из отсутствия следов скольжения на деформационном рельефе. При этом более явно начинают выделяться границы ячеек (и зерен) на рельефе, что говорит об увеличении вклада другого механизма деформации - кооперативного сдвига по границам ячеек и зерен.

Таким образом, исследования деформационного рельефа показали, что в крупнозернистом состоянии деформация происходит по механизму сдвига. С ростом степени деформации морфология рельефа становится более сложной, происходит измельчение структурных элементов (полигональных ячеек, зерен, субзерен).

В субмикроструктурном состоянии основным механизмом деформации предположительно является сдвиг по границам ячеек.

Используемые литературные источники:

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией – М.: Логос. 2000.
2. A. Vorhauer, R. Pippan. On the homogeneity of deformation by high pressure torsion. // Scripta Mater. 2004. №51. P. 921-925.
3. Малыгин Г.А. Моделирование деформационного рельефа поверхности пластически деформируемого кристалла // ФТТ. 2007. №. 49. вып. 8. С.1392-1397.